

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problems Mailbox.**

---

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-294534

(43)Date of publication of application : 04.11.1998

(51)Int.Cl.

H01S 3/18  
G11B 7/125

(21)Application number : 10-038588

(71)Applicant : SHARP CORP

(22)Date of filing : 20.02.1998

(72)Inventor : SAITO HAJIME  
MATSUMOTO AKIHIRO

(30)Priority

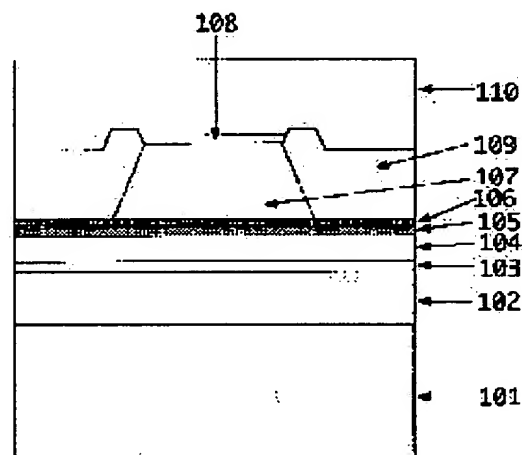
Priority number : 09 38200 Priority date : 21.02.1997 Priority country : JP

## (54) SEMICONDUCTOR LASER ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a semiconductor laser element which does not deteriorate in element characteristic even in high-output operation, obtains a sufficient life, and can maintain low-noise characteristics.

SOLUTION: On an n-GaAs substrate 101, an n-Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>As clad layer 102, a non-doped quantum well active layer 103, a p-Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>As 1st clad layer 104, a p-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As light guide layer 105, a p-Al<sub>0.14</sub>Ga<sub>0.86</sub>As etching stopper layer 106, a p-Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>As 2nd clad layer 107, and a p-GaAs cap layer 108 are laminated and grown in order. Here, the AlGaAs 2nd clad layer 107 and p-GaAs cap layer 108 are machined in a ridge shape, and an n-Al<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>As current stopping layer 109 is formed so that both the flanks of the ridge part are buried; and a p-GaAs contact layer 110 is laminated and an ohmic electrode formed lastly.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 26.01.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

B2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-294534

(43) 公開日 平成10年(1998)11月4日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

G 1 1 B 7/125

G 1 1 B 7/125

A

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願平10-38588

(22) 出願日 平成10年(1998) 2月20日

(31) 優先権主張番号 特願平9-38200

(32) 優先日 平 9 (1997) 2月21日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(72) 発明者 斉藤 肇

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ  
ャープ株式会社内

(72) 発明者 松本 晃広

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ  
ャープ株式会社内

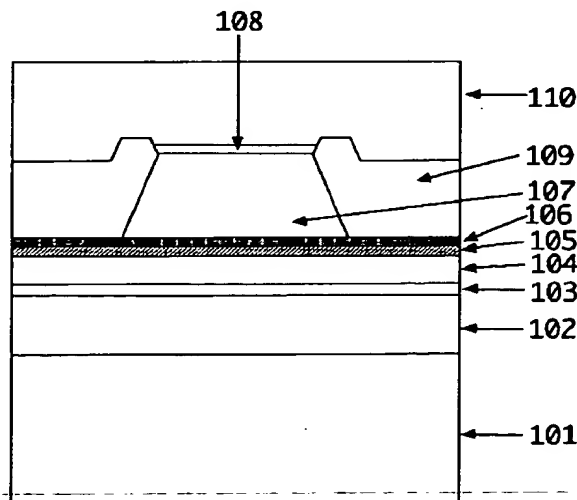
(74) 代理人 弁理士 梅田 勝

(54) 【発明の名称】 半導体レーザ素子

(57) 【要約】

【課題】 高出力動作時においても、素子特性が劣化せず、十分な寿命を得るとともに低雑音特性を維持することができる半導体レーザ素子を提供する。

【解決手段】  $n$ -GaAs 基板101上に、 $n$ -Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As クラッド層102、ノンドープ量子井戸活性層103、 $p$ -Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As 第1クラッド層104、 $p$ -Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As 光ガイド層105、 $p$ -Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As エッチングストップ層106、 $p$ -Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As 第2クラッド層107及び $p$ -GaAs キャップ層108を順次積層成長させ、 $p$ -AlGaAs 第2クラッド層107及び $p$ -GaAs キャップ層108をリッジ形状に加工し、 $n$ -Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As 電流阻止層109をリッジ部両側面を埋め込むように形成し、 $p$ -GaAs コンタクト層110を積層し、最後にオーミック電極を形成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体基板上に、下クラッド層、活性層、第1上クラッド層、光ガイド層、エッチングストップ層及び第2上クラッド層を含む複数の半導体層が形成され、該第2上クラッド層にストライプ状の開口を有する電流狭窄部が形成された半導体レーザ素子において、該光ガイド層は、該エッチングストップ層と該活性層との間に配置され、該光ガイド層のバンドギャップは、該第1上クラッド層のバンドギャップより小さく、かつ該エッチングストップ層のバンドギャップより大きく、該エッチングストップ層又は該光ガイド層と該エッチングストップ層の積層構造が、発振レーザ光に対して可飽和吸収効果を有する半導体レーザ素子。

【請求項2】 前記活性層のレーザ発振波長 $\lambda_1$ と前記エッチングストップ層のバンドギャップに相当する波長 $\lambda_2$ との差が、下記の条件を満足する範囲にある  
 $-12\text{ nm} \leq \lambda_1 - \lambda_2 \leq 2\text{ nm}$

請求項1記載の半導体レーザ素子。

【請求項3】 前記エッチングストップ層のバンドギャップに相当する波長 $\lambda_2$ と前記光ガイド層のバンドギャップに相当する波長 $\lambda_3$ との差が、下記の条件を満足する範囲にある

$$0\text{ nm} < \lambda_2 - \lambda_3 \leq 70\text{ nm}$$

請求項1又は請求項2に記載の半導体レーザ素子。

【請求項4】 前記光ガイド層に添加された不純物濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ より大きく $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ より小さい請求項1～請求項3のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項5】 前記エッチングストップ層に添加された不純物濃度が $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ より大きく $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ より小さい請求項1～請求項4のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項6】 前記光ガイド層のバンドギャップが、前記エッチングストップ層側で大きく前記第1上クラッド層側で小さくなる変化を有する請求項1～請求項5のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項7】 前記光ガイド層が、多重量子井戸構造である請求項1～請求項6のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項8】 前記光ガイド層の不純物濃度が、前記エッチングストップ層側で小さく前記第1上クラッド層側で大きくなる変化を有する請求項1～請求項7のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項9】 前記光ガイド層の全層厚が100 Å以上200 Å以下である請求項1～請求項8のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項10】 前記エッチングストップ層が、前記ストライプ状開口部にのみ配置されている請求項1～請求項9のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項11】 前記エッチングストップ層が、光出射

端面付近において少なくとも一部除去された領域を持つ請求項1～請求項10のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項12】 前記エッチングストップ層が、Alを含まない材料で形成されている請求項1～請求項11のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は種々の光ディスクシステムの光源として用いられる半導体レーザ素子に関し、特に記録・再生可能な光ディスクシステムの光源等として用いた場合に低ノイズで動作する自励発振型の半導体レーザ素子に関する。

【0002】

【従来の技術】光ディスクシステム等に用いられる従来の半導体レーザ素子では、ディスク等で反射されたレーザ光が半導体レーザ素子へ再入射することによってノイズが発生する、所謂「戻り光ノイズ」が問題となっている。

【0003】この戻り光ノイズを低減するための手段として、自励発振現象を利用する方法が知られており、例えば、Applied Physics Letters 68 (25) p3543-3545 (1996) には、AlGaInP系可視光レーザにおいて可飽和吸収層を用いた自励発振型の半導体レーザ素子が記載されている。

【0004】図17は、上記文献に記載された半導体レーザ素子の断面構造を示す。この半導体レーザ素子は、n-GaAs基板1上に、n-AlGaInP下クラッド層2、歪量子井戸活性層3、p-AlGaInP第1上クラッド層4、p-GaInP可飽和吸収層5、p-AlGaInP光ガイド層6、p-AlGaInP第2上クラッド層7及びp-GaInPキャップ層8をこの順に積層形成した構成になっている。

【0005】ここで、p-AlGaInP第2上クラッド層7及びp-GaInPキャップ層8はリッジ形状にエッチングされ、リッジ部の両側面にはp-AlGaInP第2上クラッド層7及びp-GaInPキャップ層8を埋め込むようにn-GaAs電流阻止層9が形成されている。

【0006】更に、p-GaInPキャップ層8上及びn-GaAs電流阻止層9上にはp-GaAsコンタクト層10が形成されている。

【0007】上記構成において、p-GaInP可飽和吸収層5の上面に接して配置されたp-AlGaInP光ガイド層6は、p-GaInP可飽和吸収層5の光閉じ込め率を増大させる機能を有しており、可飽和吸収効果を増大させて安定した自励発振を得ることができる。

【0008】更に、p-GaInP可飽和吸収層5には、光吸収によって生成したキャリアの消滅を促進させ

るためにp型不純物として濃度 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の亜鉛が添加されている。可飽和吸収領域の不純物濃度が高いと、光吸収によって生成したキャリアの寿命が短くなるため、キャリア密度の時間変化率に対する自然放出光の寄与が大きくなる。このため、上記構成の自励発振型の半導体レーザ素子によれば、可飽和吸収効果が向上して自励発振が生じやすくなり、半導体レーザ素子の温度特性及びノイズ特性が大きく改善され、更に高温連続動作においても長寿命を有することが上記文献に記載されている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、本発明者等が上記の自励発振型の半導体レーザ素子を記録・再生可能な半導体レーザ素子に適用して実験を行ったところ、光ディスクの書き込み等に必要な高出力動作時には、十分な寿命が得られないことが判った。そして、その原因を検討したところ、次のようなことが判明した。

【0010】即ち、 $\text{p-GaInP}$ 可飽和吸収層5上若しくはその上方近傍には、結晶再成長等に起因する結晶欠陥が多く存在する。また、リッジ内部の可飽和吸収層5は動作電流の通路となるのみならず、絶えずキャリアの生成・消滅を繰り返している。このため、結晶欠陥を生じ易い。特に、上記従来例のように、 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の高濃度に不純物を添加した場合には、この $\text{p-GaInP}$ 可飽和吸収層5には多くの結晶欠陥が発生している。

【0011】このため、高出力動作時には、これらの結晶欠陥や不純物が増殖或いは拡散し、歪量子井戸活性層3へ進行する結果、半導体レーザ素子の高出力動作時における寿命が劣化する。加えて、電流拡がりの抑制や非点隔差を小さくするためには、 $\text{p-AlGaInP}$ 第1上クラッド層4の層厚を薄くする必要があり、素子特性の劣化は更に顕著なものとなる。

【0012】更に近年の光ディスクシステムにおいては、書き込み速度を向上させるため光ディスクの回転速度は速くなる傾向にあり、録再型半導体レーザに対して高出力動作と低ノイズ維持の両立が求められている。

【0013】本発明は、このような現状に鑑みてなされたものであり、高出力動作時においても、素子特性が劣化せず、十分な寿命を得ることができ、かつ高出力動作と低ノイズ維持の両立が可能な半導体レーザ素子を提供することを目的とする。

【0014】

〔課題を解決するための手段〕本発明の半導体レーザ素子は、半導体基板上に、下クラッド層、活性層、第1上クラッド層、光ガイド層、エッチングストップ層及び第2上クラッド層を含む複数の半導体層が形成され、該第2上クラッド層にストライプ状の開口を有する電流狭窄部が形成された半導体レーザ素子において、該光ガイド

層は、該エッチングストップ層と該活性層との間に配置され、該光ガイド層のバンドギャップは、該第1上クラッド層のバンドギャップより小さく、かつ該エッチングストップ層のバンドギャップより大きく、該エッチングストップ層又は該光ガイド層と該エッチングストップ層の積層構造が、発振レーザ光に対して可飽和吸収効果を有しており、そのことにより上記目的が達成される。

【0015】上記の構成による本発明の半導体レーザ素子においては、エッチングストップ層が可飽和吸収層の機能を兼ね備えており、更に光ガイド層が活性層に近いエッチングストップ層の下側に配置されている。この光ガイド層は可飽和吸収層の光閉じ込め率を増大させる機能のみならず、再成長界面や可飽和吸収層中の結晶欠陥が増殖し、活性層へ進行するのを抑制する機能も兼ね備えている。

【0016】従って、上記の構成によれば、半導体レーザ素子の高出力動作時においても、これらの結晶欠陥が増殖し、活性層へ進行するのを抑制できるので、半導体レーザ素子の素子寿命が劣化することがない。

【0017】よって、本発明によれば、高出力動作時においても長寿命の信頼性の高い半導体レーザ素子を実現できる。

【0018】好ましくは、前記活性層のレーザ発振波長 $\lambda_1$ と前記エッチングストップ層のバンドギャップに相当する波長 $\lambda_2$ との差が、下記の条件を満足する範囲にある

$$-12 \text{ nm} \leq \lambda_1 - \lambda_2 \leq 2 \text{ nm}$$

構成とする。ここでバンドギャップに相当する波長とは、図16に示すように各々の層が量子井戸層である場合には、価電子帯と伝導帯の量子準位によるエネルギー差を波長に置き換えた値と定義する。

【0019】 $\lambda_1 - \lambda_2$ が絶対値の大きな正値をとる場合にはエッチングストップ層での可飽和吸収効果が弱く、安定な自励発振が得られない。従って少ない戻り光でもノイズが発生する。一方、 $\lambda_1 - \lambda_2$ が絶対値の大きな負値をとる場合にはエッチングストップ層での可飽和吸収効果が強く、戻り光ノイズは十分回避できるが、発振閾値において電流光出力特性がスイッチング的動作を示し、光出力の揺らぎに起因する量子ノイズが増大する。活性層のレーザ発振波長 $\lambda_1$ とエッチングストップ層のバンドギャップに相当する波長 $\lambda_2$ との差が、

$$-12 \text{ nm} \leq \lambda_1 - \lambda_2 \leq 2 \text{ nm}$$

の範囲内にある構成とすると、戻り光ノイズと量子ノイズの両方を低減できる。このため、広い光出力範囲において安定した低ノイズ特性を得ることができる。

【0020】また、好ましくは、前記エッチングストップ層のバンドギャップに相当する波長 $\lambda_2$ と前記光ガイド層のバンドギャップに相当する波長 $\lambda_3$ との差が、下記の条件を満足する範囲にある

$$0 \text{ nm} < \lambda_2 - \lambda_3 \leq 70 \text{ nm}$$

構成とする。

【0021】レーザ発振の立ち上がりにおいて、光吸収によって生成されるキャリアの寿命が短いと電流光出力特性におけるスイッチング動作が顕著となるため、低出力時にはキャリア寿命が比較的長い方が望ましい。一方、光出力の増大に伴って可飽和吸収領域では光子密度が高くなり生成キャリアも増加するため、自励発振を維持するためにはキャリア寿命を短くすることが必要である。エッチングストップ層と光ガイド層のバンドギャップ差 $\lambda_2 - \lambda_3$ が、

$$0 \text{ nm} < \lambda_2 - \lambda_3 \leq 70 \text{ nm}$$

の範囲内にある構成とすると、可飽和吸収領域であるエッチングストップ層で過剰にキャリアが生成されると光ガイド層へオーバーフローしやすくなる。これにより高出力動作時においてのみ生成キャリアの寿命を実質的に短く出来るため、高出力動作と低ノイズ特性の両立が可能となる。

【0022】また、好ましくは、前記光ガイド層に添加された不純物濃度が $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ より大きく $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ より小さい構成とする。

【0023】光ガイド層に添加された不純物濃度が上記範囲内にあれば、高出力動作時のみ過剰な生成キャリアが光ガイド層へオーバーフローし短時間で消滅する。また、素子の信頼性を低下させるような結晶欠陥が導入されるのを回避することが出来る。従って高出力まで半導体レーザ素子の信頼性と低ノイズ特性が維持される。

【0024】また、好ましくは、前記エッチングストップ層に添加された不純物濃度が $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ より大きく $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ より小さい構成とする。

【0025】エッチングストップ層に添加された不純物濃度が上記範囲内にあれば、生成キャリアの少ない低出力時にはキャリア寿命の比較的長いエッチングストップ層でキャリアが消滅するため、電流光出力特性のスイッチング動作を緩和することが出来る。従って広い出力範囲において直線性の良い電流光出力特性が得られ、かつ半導体レーザ素子の低ノイズ特性が維持される。

【0026】また、好ましくは、前記光ガイド層のバンドギャップが、前記エッチングストップ層側で大きく前記第1上クラッド層側で小さくなる変化を有する構成とする。

【0027】本構成によれば、一旦光ガイド層へオーバーフローした生成キャリアは、エッチングストップ層側へ逆戻りせず、エネルギー準位の低い第1上クラッド層近傍へ拡散して消滅する。従って更に高出力まで低ノイズ特性の維持が可能となる。

【0028】また、好ましくは、前記光ガイド層が、多重量子井戸構造である構成とする。

【0029】本構成によれば、光ガイド層へオーバーフローした生成キャリアが井戸層内に閉じ込められるため、エッチングストップ層側へ逆戻りせず、再結合によ

って消滅しやすくなる。従って高出力動作によって過剰にキャリアが生成されてもその寿命を短く出来、低ノイズ特性を維持することが出来る。

【0030】また、好ましくは、前記光ガイド層の不純物濃度が、前記エッチングストップ層側で小さく前記第1上クラッド層側で大きくなる変化を有する構成とする。

【0031】本構成によれば、光ガイド層へオーバーフローした生成キャリアが第1上クラッド層側へ拡散したときに更に消滅しやすくなる。従って更に高出力まで低ノイズ特性の維持が可能となる。

【0032】また、好ましくは、前記光ガイド層の全層厚が $100 \text{ \AA}$ 以上 $200 \text{ \AA}$ 以下である構成とする。

【0033】光ガイド層厚が薄くなるとエッチングストップ層への光閉じ込め率が小さくなり可飽和吸収効果は高出力まで維持できず、逆に厚くなると可飽和吸収効果が強くなり電流光出力特性がスイッチング的動作を示しやすくなる。上記範囲内にあれば、エッチングストップ層への光閉じ込め効果を高め、かつ電流光出力特性の急峻な立ち上りを抑えることが出来る。従って広い範囲において直線性の良い電流光出力特性が得られ、かつ低ノイズ特性が維持される。

【0034】また、好ましくは、前記エッチングストップ層が、前記ストライプ状開口部のみ配置されている構成とする。

【0035】本構成によれば、ストライプ内外での実効屈折率差を大きくできる。このため、非点隔差を小さくし、横モードを安定化することができる。

【0036】また、好ましくは、前記エッチングストップ層が、光出射端面付近において少なくとも一部除去された領域を持つ構成とする。

【0037】本構成によれば、光ディスク等からの戻り光が半導体レーザ端面に再入射した際に可飽和吸収効果を持つ領域との相互作用を引き起こしにくくなる。このため、安定な自励発振動作を得ることが出来る。

【0038】また、好ましくは、前記エッチングストップ層を、A1を含まない材料で形成する。

【0039】本構成によれば、A1の酸化に起因する再成長界面等の結晶欠陥を低減できる。このため、素子の特性および信頼性を更に向上することができる。

【0040】

【発明の実施の形態】以下に本発明の実施の形態を図面に基づき具体的に説明する。

【0041】なお、以下において層厚の単位は $\mu\text{m}$ を用いるが、量子効果を有するような極薄層の層厚については主に $\text{\AA}$ を用いる。

【0042】（実施形態1）図1は本発明半導体レーザ素子の実施形態1を示す。本実施形態1は、本発明をA1GaAs系材料を用いたリッジ型の半導体レーザ素子に適用した例を示す。

【0043】図1に従い、この半導体レーザ素子の構造を製造工程と共に説明する。まず、 $n$ -GaAs基板101を成長装置(図示せず)内にセットし、この $n$ -GaAs基板101上に、第1回目の結晶成長により $n$ -Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As下クラッド層102(キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ $1.0 \mu\text{m}$ )、ノンドープ量子井戸活性層103、 $p$ -Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As第1上クラッド層104(キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ $0.17 \mu\text{m}$ )、 $p$ -Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As光ガイド層105(キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ $200 \text{ \AA}$ )、 $p$ -Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Asエッチングストップ層106(キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ $100 \text{ \AA}$ )、 $p$ -Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As第2上クラッド層107(キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ $1.2 \mu\text{m}$ )及び $p$ -GaAsキャップ層108(キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ $0.1 \mu\text{m}$ )を順次積層成長させる。

【0044】ここで、ノンドープ量子井戸活性層103は、Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As井戸層(厚さ $100 \text{ \AA}$ )、Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As障壁層(厚さ $100 \text{ \AA}$ )及び同組成のガイド層(厚さ $300 \text{ \AA}$ )から成る3重井戸構造に形成されている。

【0045】また、可飽和吸収層となる $p$ -Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Asエッチングストップ層106のバンドギャップをフォトルミネッセンス法により測定したところ、相当する波長 $\lambda_2$ は $792 \text{ nm}$ であった。

【0046】次に、上記の半導体層が形成された $n$ -GaAs基板101を成長装置から取り出し、公知のフォトリソグラフィ技術を用いて $p$ -GaAsキャップ層108上にストライプ状の $\text{SiO}_2$ 膜を形成する。そして、この $\text{SiO}_2$ 膜をエッチングマスクとし、公知の選択エッチング技術を用いて、 $p$ -AlGaAsエッチングストップ層106に到達するように $p$ -AlGaAs第2上クラッド層107及び $p$ -GaAsキャップ層108をリッジ形状に加工する。

\*【0047】本実施形態1では、選択エッチング溶液として弗化水素酸を用いた。また、リッジ幅は $p$ -AlGaAsエッチングストップ層106との界面において $1 \sim 4 \mu\text{m}$ とした。

【0048】その後、再度、 $n$ -GaAs基板101を成長装置内にセットし、前記の $\text{SiO}_2$ 膜を残したまま第2回目の結晶成長により $n$ -Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As電流阻止層109(キャリア濃度 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ $0.6 \mu\text{m}$ )を積層する。このとき、公知の選択成長技術を用いることにより、 $\text{SiO}_2$ 膜上にはAlGaAs膜は成長せず、電流阻止層109はリッジ部両側面を埋め込むように形成する。

【0049】その後、 $n$ -GaAs基板101を再度成長装置から取り出し、 $\text{SiO}_2$ 膜を除去する。

【0050】次いで、 $n$ -GaAs基板101を再度、成長装置内にセットし、第3回目の結晶成長により $p$ -GaAsコンタクト層110(キャリア濃度 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ $2.0 \mu\text{m}$ )を積層する。最後に $p$ -GaAsコンタクト層110の上面及び $n$ -GaAs基板101の下面に各々オーミック電極(図示せず)を形成し、劈開法により共振器長を $375 \mu\text{m}$ に調整して、出射側端面には反射率 $15\%$ 、反対側端面には反射率 $75\%$ のコーティング膜を各々形成する。以上の工程により、本実施形態1のリッジ型の半導体レーザ素子を得た。本実施形態1の半導体レーザ素子の発振波長 $\lambda_1$ を測定したところ、 $785 \text{ nm}$ であった。

【0051】下記表1は、本実施形態1の半導体レーザ素子の最大自励発振出力及びエージング歩留まりを評価した結果を比較例1と共に示す。なお、比較例1の半導体レーザ素子としては、光ガイド層105をエッチングストップ層106の上側に配置した他は本実施形態1の半導体レーザ素子と同構造のものをを用いた。

【0052】

\*【表1】

	最大自励発振出力	エージング歩留まり
実施形態1	40mW	80%
比較例1	40mW	50%

【0053】表1において、エージング歩留まりは、温度 $60^\circ\text{C}$ ・出力 $35 \text{ mW}$ で $1000$ 時間の寿命試験後、駆動電流の上昇が初期値に対して $20\%$ 以内であったものの割合を示す。

【0054】表1から理解されるように、光ガイド層105をエッチングストップ層106の下側に配置した本実施形態1の半導体レーザ素子は、光ガイド層105をエッチングストップ層106の上側に配置した比較例1の半導体レーザ素子に比べると、素子寿命が向上している。

【0055】このような結果が得られた理由については、次のように考えられる。

【0056】光ガイド層105は、 $p$ -第1上クラッド層104および $p$ -第2上クラッド層107よりAl混晶比が低いと、結晶内部及び界面に欠陥が生じにくい。即ち、光ガイド層105は可飽和吸収層として働くエッチングストップ層106の光閉じ込め率を増大させる機能のみならず、再成長界面の結晶欠陥が増殖し活性層103へ進行するのを抑制する機能をも兼ね備えていると考えられるからである。

【0057】特に、本実施形態1の半導体レーザ素子においては、光ガイド層105は再成長界面を持たないため、比較例に比べて欠陥抑制効果が高い。従って、本実施形態1の半導体レーザ素子においては、高出力動作時



においても素子特性が劣化せず十分な寿命を得ることができる。

【0058】次に、エッチングストップ層106のA1混晶比を変えることによって、エッチングストップ層106のバンドギャップに相当する波長 $\lambda_2$ を変化させた他は本実施形態1の半導体レーザ素子と同構造のものを作製し、光出力と相対雑音強度（以下RINと称する）の関係を評価した結果を図2に示す。光路長は20mmとし、測定周波数および帯域幅は各々720kHz・10kHzである。RINは戻り光率1~15%で変化させた場合の最大値を示している。

【0059】図2より、 $\lambda_1 - \lambda_2$ の値が絶対値の大きな負値となるに伴って可飽和吸収効果が増大するため、高出力まで自励発振が持続することがわかる。最大自励発振出力に近づくにつれ徐々にノイズは増大するが、RINは-130dB/Hz以下の低ノイズ特性が維持されている。更に出力が増大し自励発振が停止すると、急激にノイズが増大する。これより、高出力動作と低ノイズ特性の両立は、最大自励発振出力を高くすることによって実現されることがわかる。

【0060】次に、これらの半導体レーザ素子を光ピックアップに適用してジッタ（再生信号の時間軸の揺らぎ）を測定した。

【0061】図3は、 $\lambda_1 - \lambda_2$ と再生ジッタとの関係を示す。通常の光ディスクシステムの場合、再生ジッタが20ns以下であれば、実用上問題を生じる可能性は小さい。これを満足する範囲は、図3からわかるように、

$$-12\text{nm} \leq \lambda_1 - \lambda_2 \leq 2\text{nm}$$

となる。この結果が得られた理由については、以下のよう

【0062】 $\lambda_1 - \lambda_2$ が2nmよりも大きい場合には、エッチングストップ層106での可飽和吸収効果が弱く（低く）、安定な自励発振が得られない。従って、少ない戻り光でもノイズが発生し、再生信号に揺らぎが生じてジッタが悪化するものと考えられる。

【0063】一方、 $\lambda_1 - \lambda_2$ が-12nmよりも小さい場合には、エッチングストップ層106での可飽和吸収効果が強く（高く）、戻り光ノイズは十分に回避できる。ところが、この場合には、発振閾値において光出力-電流特性がスイッチング的動作を示し、光出力の揺らぎに起因する量子ノイズが増大する。この量子ノイズによってジッタが悪化したものと考えられる。

【0064】以上の推論結果により、戻り光ノイズと量子ノイズの両方を回避し、広い光出力範囲において安定した低ノイズ特性を得るためには、活性層103のレーザ発振波長 $\lambda_1$ とエッチングストップ層106のバンドギャップに相当する波長 $\lambda_2$ との差 $\lambda_1 - \lambda_2$ が、

$$-12\text{nm} \leq \lambda_1 - \lambda_2 \leq 2\text{nm}$$

の範囲内にあるように構成すればよいことがわかる。

【0065】なお、本実施形態1では活性層103の量子井戸層を3層構造としたが、他の井戸層数を採用した、いわゆる多重量子井戸構造であっても、実施形態1と同様の効果を奏することができる。

【0066】また、本実施形態1では、高出力用の半導体レーザ素子に本発明を適用する場合について説明したが、本発明は、情報読み出し等の低出力用半導体レーザ素子についても同様に適用することができる。この場合は、素子寿命を更に一層向上できる利点がある。

【0067】（実施形態2）本実施形態2では、光ガイド層105及びエッチングストップ層106の構造が実施形態1における光ガイド層と異なる他は、同様の構成になっている。即ち、本実施形態2においては、光ガイド層105をp-Al<sub>0.13</sub>Ga<sub>0.87</sub>As（キャリア濃度 $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、厚さ150Å）とし、エッチングストップ層106をp-GaAs（キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、厚さ30Å）とした点で実施形態1とは異なっている。

【0068】本実施形態2におけるエッチングストップ層106は非常に薄く、また量子効果によって実質的なバンドギャップが広がるため、単独では可飽和吸収効果を持たない。しかし、エッチングストップ層106下面に配置された光ガイド層105により、エッチングストップ層106の量子準位が影響を受け、光吸収波長は長波長側へシフトする。これによりエッチングストップ層106は可飽和吸収層として働く。フォトルミネッセンス法により測定したところ、活性層のレーザ発振波長 $\lambda_1$ およびエッチングストップ層のバンドギャップに相当する波長 $\lambda_2$ の差は $\lambda_1 - \lambda_2 = -5\text{nm}$ であった。

【0069】本実施形態2における光ガイド層105は、量子井戸活性層と同程度のバンドギャップであるため、可飽和吸収層として働くエッチングストップ層106への光閉じ込めを増大させる働きのみならず、光ガイド層105自身も可飽和吸収層として働く。しかし、可飽和吸収効果はエッチングストップ層106に比べて弱い。フォトルミネッセンス法により測定したところ、エッチングストップ層106のバンドギャップに相当する波長 $\lambda_2$ および光ガイド層105のバンドギャップに相当する波長 $\lambda_3$ の差は $\lambda_2 - \lambda_3 = 20\text{nm}$ であった。

【0070】下記表2は、本実施形態2の半導体レーザ素子の最大自励発振出力およびエージング歩留まりの評価結果を示す。エージング条件は実施形態1と同じである。

【0071】

【表2】

	最大自励発振出力	エージング歩留まり
実施形態2	60mW	80%

【0072】表2より、本実施形態2の半導体レーザ素子は、先の実施形態1の半導体レーザ素子に比べると、最大自励発振出力が向上している。このような結果が得られた理由については、次のように考えられる。

【0073】半導体レーザ素子の光出力が増大するに伴い、エッチングストップ層106における光強度も増大し、可飽和吸収効果によって生成されるキャリアは増加する。これらの生成キャリアはエッチングストップ層106中で再結合し消滅するが、エッチングストップ層106と光ガイド層105のバンドギャップ差が小さい場合、エッチングストップ層106で消滅しきれず過剰となったキャリアは光ガイド層105側へオーバーフローする。光ガイド層105はエッチングストップ層106に比べて体積が大きいため、拡散によって消滅が促進される。従ってエッチングストップ層106のみで生成キャリアを消費する場合に比べ、キャリア寿命は実質的に短くなる。このため、光吸収の飽和が起こりにくくなり、高出力でも自励発振が維持されるのである。

【0074】次に、光ガイド層105のA1混晶比を変えることによって、光ガイド層105のバンドギャップに相当する波長 $\lambda_3$ を変化させた他は本実施形態2の半導体レーザ素子と同構造のものを作製し、最大自励発振出力を測定した結果を図4に示す。エッチングストップ層106と光ガイド層105のバンドギャップに相当する波長差 $\lambda_2 - \lambda_3$ が大きくなるに伴って最大自励発振出力は小さくなり、70nm以上では最大自励発振出力が急激に低下する。これより、エッチングストップ層106での過剰キャリアが光ガイド層105側へオーバーフローするためには、エッチングストップ層106と光ガイド層105のバンドギャップ差に相当する波長差は70nm以下であることが好ましいことがわかる。なお、 $\lambda_2 - \lambda_3 \leq 0$ nmにおいては、光ガイド層105のバンドギャップがエッチングストップ層106のバンドギャップより小さくなるため光ガイド層105での可飽和吸収効果が顕著になる。この結果レーザ駆動によって増殖する欠陥が活性層3へ進行し、半導体レーザ素子の寿命が劣化する。

【0075】また、本発明の半導体レーザ素子は、低光出力動作時にはキャリアのオーバーフローが生じず、寿命が比較的長いエッチングストップ層106のみで生成キャリアが消滅し、電流光出力特性のスイッチング動作が起こりにくい。高出力となるに伴って、過剰キャリアが光ガイド層105へオーバーフローし、実質的なキャリア寿命が短くなる。

【0076】次に、光ガイド層105の層厚を変化させた他は本実施形態2の半導体レーザ素子と同構造のものを

を作製し、最大自励発振出力および発振閾値における光出力の跳び(図5参照)を測定した結果を図5に示す。光ガイド層105の厚みが100Å以下ではエッチングストップ層106への光閉じ込め効果が弱くなり、最大自励発振出力は小さい。一方200Å以上では実質的なキャリア寿命が極端に短くなり、電流光出力特性のスイッチング的動作が顕著となる。従って、広い出力範囲において自励発振を持続すると共に直線性の良い電流光出力特性を得るためには、光ガイド層105の厚みは100Å以上200Å以下とするのが好ましい。

【0077】また表2より、本実施形態2の半導体レーザ素子は、最大自励発振出力が向上しているにもかかわらず、先の実施形態1の半導体レーザ素子と同等のエージング歩留まりを有してしている。本実施形態2におけるエッチングストップ層106はA1を含まないため表面が酸化されにくい。そのため、実施形態1の半導体レーザ素子に比べて再成長界面の欠陥が低減し、より高い出力でも信頼性が維持できたと考えられる。

【0078】本実施形態2では、p-GaAsエッチングストップ層106の厚みを30Åとしたが、量子井戸構造においてはその厚みによって実質的なバンドギャップが変化するため、上記の量子効果を得るには該エッチングストップ層の厚みが100Å以下であることが好ましい。また、弗化水素酸などのエッチング溶液に対して十分なエッチング停止機能を有するためには、該エッチングストップ層の厚みが10Å以上であることが好ましい。

【0079】本実施形態2では、光ガイド層105自身も可飽和吸収層として働く構成としたが、 $\lambda_2 - \lambda_3$ が上記範囲内であればレーザ光を吸収しない層であっても高出力動作におけるキャリアオーバーフローは起こりやすくなるため、同様の効果を得ることができる。

【0080】(実施形態3)本実施形態3の半導体レーザ素子では、光ガイド層105の不純物濃度が上記実施形態2の光ガイド層105の不純物濃度と異なる他は、同様の構成になっている。即ち、本実施形態3の光ガイド層105の不純物濃度は $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、不純物濃度が $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である実施形態2とはこの点で異なっている。

【0081】下記表3は、本実施形態3の半導体レーザ素子の最大自励発振出力およびエージング歩留まりの評価結果を示す。エージング条件は実施形態1と同じである。

【0082】

【表3】

	最大自励発振出力	エージング歩留まり
実施形態3	70mW	80%

【0083】表3より、本実施形態3の半導体レーザ素子は、先の実施形態2の半導体レーザ素子に比べると、更に最大自励発振出力が向上している。これは、光ガイド層105の不純物濃度が実施形態2に比べて高くなっており、オーバーフローした過剰キャリアの寿命が短くなったためである。これによって光吸収の飽和が更に起こりにくくなり、より高出力でも自励発振が維持されたと考えられる。

【0084】次に、光ガイド層105の不純物濃度を変化させた他は本実施形態3の半導体レーザ素子と同構造のものを作製し、最大自励発振出力およびエージング歩留まりを評価した結果を図6に示す。光ガイド層105の不純物濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上で最大自励発振出力が急激に上昇するが、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上になると、結晶欠陥を生じやすくなり歩留まりが急激に低下する。従って、高出力まで自励発振と素子寿命を維持するためには、光ガイド層105の不純物濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることが好ましい。

【0085】本実施形態3においては、実施形態2に比べて最大自励発振出力が向上しているにもかかわらず、エージング歩留まりの低下は見られない。これは、高光出力動作時には生成キャリアを光ガイド層105で消費するため、高サイクルの自励振動によって結晶欠陥を生じ易いエッチングストップパ層は不純物濃度を低く設定できるからである。

【0086】次に、本実施形態3の半導体レーザ素子に\*

＊について、エッチングストップパ層106の不純物濃度を変化させて最大自励発振出力および発振閾値における光出力の跳びを評価した結果を図7に示す。エッチングストップパ層106の不純物濃度が $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下では自励発振が起こりにくくなり、 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上ではスイッチング動作が顕著となる。従って、広い出力範囲において自励発振を持続すると共に直線性の良い電流光出力特性を得るためには、エッチングストップパ層106の不純物濃度が $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることが好ましい。

【0087】（実施形態4）本実施形態4の半導体レーザ素子では、光ガイド層105のA1混晶比が層厚方向で変化する他は、上記実施形態3と同様の構成になっている。即ち、図8に示すように、本実施形態4の光ガイド層105のA1混晶比は層厚方向で0.14から0.2まで変化しており、バンドギャップがエッチングストップパ層106側で大きく第1上クラッド層104側で小さくなる構成としている。光ガイド層105のA1混晶比が層厚方向で一定である実施形態3とはこの点で異なっている。

【0088】下記表4は、本実施形態4の半導体レーザ素子の最大自励発振出力およびエージング歩留まりの評価結果を示す。エージング条件は実施形態1と同じである。

【0089】

【表4】

	最大自励発振出力	エージング歩留まり
実施形態4	75mW	80%

【0090】表4より、本実施形態4の半導体レーザ素子は、先の実施形態3の半導体レーザ素子に比べると、更に最大自励発振出力が向上している。これは、高光出力動作時において光ガイド層105へオーバーフローした生成キャリアはエネルギー準位の低い第1上クラッド層104近傍へ拡散して消滅するため、エッチングストップパ層106へ逆戻りしないからである。従って更に高出力まで低雑音特性の維持が可能となる。

【0091】本実施形態4では、光ガイド層105のA1混晶比を0.14から0.2まで変化させたが、エッチングストップパ層106のバンドギャップに相当する波長 $\lambda_2$ と光ガイド層105のバンドギャップに相当する波長 $\lambda_3$ の差の最大値が

$$0 \text{ nm} < \lambda_2 - \lambda_3 \leq 70 \text{ nm}$$

の範囲であれば本発明の効果は有効となる。

【0092】また本実施形態4ではA1混晶比変化の度が層厚方向で一定であるとしたが、第1上クラッド層

104側の方がエネルギー準位が低ければ同様の効果が得られるので、A1混晶比変化率を層厚方向で変化させたり、あるいは多段階にしても良い。

【0093】（実施形態5）本実施形態5の半導体レーザ素子では、光ガイド層105が多重量子井戸構造である他は上記実施形態3と同様の構成になっている。即ち、図9に示すように、本実施形態5の光ガイド層105は $\text{Al}_{0.12}\text{Ga}_{0.88}\text{As}$ 井戸層3層（厚み各50Å）と $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 障壁層2層（厚み各30Å）を交互に配置した多重量子井戸構造であり、単一量子井戸構造である実施形態3とはこの点で異なっている。

【0094】下記表5は、本実施形態の半導体レーザ素子の最大自励発振出力およびエージング歩留まりの評価結果を示す。エージング条件は実施形態1と同じである。

【0095】

【表5】

	最大自励発振出力	エージング歩留まり
実施形態5	75mW	80%

【0096】表5より、本実施形態5の半導体レーザ素子は、先の実施形態3の半導体レーザ素子に比べると、更に最大自励発振出力が向上している。これは、高光出力動作時において光ガイド層105へオーバーフローした生成キャリアは障壁層によって囲まれた井戸層内に閉じ込められて消滅し、エッチングストップ層106へ逆戻りしないからである。従って更に高出力まで低雑音特性の維持が可能となる。

【0097】また、本実施形態5を先の実施形態4のA1混晶比を変化させた光ガイド層に適用したところ、更に最大自励発振出力が向上した。

【0098】本実施形態5では、多重量子井戸光ガイド層105の井戸数を3としたが、その他の井戸数であっても本発明の効果は同様である。また障壁層の厚みや混晶比も井戸層内にキャリアがエッチングストップ層へ逆戻りせず閉じ込められる構造であればよい。

\*【0099】（実施形態6）本実施形態6の半導体レーザ素子では、光ガイド層105の不純物濃度が層厚方向で変化する他は上記実施形態3と同様の構成になっている。即ち、図10に示すように、本実施形態6の光ガイド層105の不純物濃度は層厚方向で $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ から $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ まで変化しており、エッチングストップ層106側で小さく第1上クラッド層104側で大きくなる構成としている。光ガイド層105の不純物濃度が層厚方向で一定である実施形態3とはこの点で異なっている。

【0100】下記表6は、本実施形態6の半導体レーザ素子の最大自励発振出力およびエージング歩留まりの評価結果を示す。エージング条件は実施形態1と同じである。

【0101】

【表6】

	最大自励発振出力	エージング歩留まり
実施形態6	75mW	80%

【0102】表6より、本実施形態6の半導体レーザ素子は、先の実施形態3の半導体レーザ素子に比べると、更に最大自励発振出力が向上している。本実施形態のように光ガイド層105の不純物濃度に勾配を設けることにより、キャリアオーバーフローが増加しても確実にキャリア寿命を短くすることが出来る。これによって光吸収の飽和が更に起こりにくくなり、より高出力でも自励発振が維持されたと考えられる。

【0103】また、本実施形態6の不純物濃度プロファイルを先の実施形態4および5の光ガイド層に適用したところ、いずれの実施形態においても更に最大自励発振出力が向上した。

【0104】（実施形態7）図11は本発明の半導体レーザ素子の実施形態7を示す。本実施形態7は、本発明をAlGaInP系材料を用いた自己整合型の赤色半導体レーザ素子に適用した例を示す。

【0105】図11に従い、この半導体レーザ素子の構造を製造工程と共に説明する。但し、図11では、図1と同様の部分には同一の符号を付してある。

【0106】まず、n-GaAs基板101を成長装置（図示せず）内にセットし、このn-GaAs基板101上に、第1回目の結晶成長により厚さn-(Al<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>)<sub>0.99</sub>In<sub>0.01</sub>P下クラッド層102、ノンドープ歪量子井戸活性層103、p-(Al<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>)<sub>0.99</sub>In<sub>0.01</sub>P第1上クラッド層104、p-(Al<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>)<sub>0.99</sub>In<sub>0.01</sub>P光ガイド層105、p-Ga<sub>0.44</sub>In<sub>0.56</sub>Pエッチングストップ層106及びn-GaAs電流阻止層109を順次積層成長する。

【0107】ここで、ノンドープ歪量子井戸活性層103は、Ga<sub>0.44</sub>In<sub>0.56</sub>P井戸層4層、(Al<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>)<sub>0.99</sub>In<sub>0.01</sub>P障壁層3層が交互に積層され、その上下には障壁層と同組成のガイド層が形成されている。

【0108】p-Ga<sub>0.44</sub>In<sub>0.56</sub>Pエッチングストップ層106は厚さ30Åの単一量子井戸層とした。

【0109】次に、上記の半導体層が形成されたn-GaAs基板101を成長装置から取り出し、公知の選択エッチング技術を用いて、p-Ga<sub>0.44</sub>In<sub>0.56</sub>Pエッチングストップ層106に到達するようにn-GaAs電流阻止層109にストライプ状の溝111を形成する。

【0110】その後、再度、n-GaAs基板101を成長装置内にセットし、第2回目の結晶成長によりp-(Al<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>)<sub>0.99</sub>In<sub>0.01</sub>P第2クラッド層107及びp-Ga<sub>0.44</sub>In<sub>0.56</sub>Pコンタクト層110を順次積層する。最後に、p-GaInPコンタクト層110の上面及びn-GaAs基板101の下面に各々オーミック電極（図示せず）を形成し、劈開法により共振器長を375μmに調整して、出射側端面には反射率15%、反対側端面には反射率75%のコーティング膜を各々形成し、本実施形態7の半導体レーザ素子を得た。

【0111】なお、本実施形態7の半導体レーザ素子の発振波長λ1及び可飽和吸収層となるエッチングストップ層106のバンドギャップに相当する波長λ2は共に658nmで、λ1-λ2の値は0nmであった。

【0112】下記表7は、本実施形態7の半導体レーザ

素子の最大自励発振出力及びエージング歩留まりの評価結果を比較例7と共に示す。なお、比較例7の半導体レーザ素子としては、光ガイド層をエッチングストップパ層の上側に配置した他は本実施形態7の半導体レーザ素子\*

\*と同構造のものを用いた。

【0113】

【表7】

	最大自励発振出力	エージング歩留まり
実施形態7	40mW	80%
比較例7	40mW	40%

【0114】表7と上記表1とを比較してみれば明らかのように、本実施形態7の半導体レーザ素子においても、実施形態1の半導体レーザ素子と同じ効果が得られる。

【0115】ここで、自己整合型の半導体レーザ素子においては、電流通路が再成長界面となるため、比較例7の構造においては、エージング歩留まりがリッジ型の半導体レーザ素子より低下しているが、本実施形態7においては、歩留まりの低下は見られなかった。

【0116】このことより、本発明は半導体レーザ素子の材料や作製方法に依存せず、光ガイド層が活性層に近い側に配置されていれば十分な効果が得られることがわかる。

【0117】（実施形態8）図12は本発明半導体レーザ素子の実施形態8を示す。本実施形態8は、本発明を上記実施形態2同様のリッジ型の半導体レーザ素子に適用した例を示す。但し、本実施形態8においては、p-GaAsエッチングストップパ層106がリッジストライプの内部にのみ形成されており、この点で実施形態2の半導体レーザ素子とは異なっている。

【0118】本実施形態8の半導体レーザ素子は、上記実施形態2と全く同様にして作製される。以下に図4に

※【0119】実施形態1及び実施形態2同様に、公知の選択エッチング技術を用いて、p-AlGaAs第2上クラッド層107及びp-GaAsキャップ層108をリッジ形状に加工した後、クエン酸と過酸化水素の混合液をエッチング溶液として、リッジストライプの外部に露出しているp-GaAsエッチングストップパ層106のみを選択的に除去する。このエッチング溶液はAl混晶比の低いAlGaAs層を選択的にエッチングし、PH調整によりAl混晶比が0.1~0.3の間で選択性を持たせることが出来る。従って、エッチングストップパ層106よりAl混晶比の高いp-AlGaAs光ガイド層105でエッチングは停止する。なお、p-GaAsキャップ層108はSiO<sub>2</sub>膜で覆われているため浸食されない。その後の作製工程は実施形態1及び実施形態2と全く同じである。

【0120】下記表8は、本実施形態8の半導体レーザ素子の出力5mW時における非点隔差を評価した結果を示す。また比較例として、実施形態2の半導体レーザ素子について同様の評価を行った結果についても同時に示す。

【0121】

【表8】

	非点隔差（5mW時）
実施形態8	4μm
比較例（実施形態2）	7μm

【0122】表8から理解されるように、可飽和吸収機能を持つエッチングストップパ層106がリッジストライプの内部にのみ形成された本実施形態8の半導体レーザ素子は、実施形態2の半導体レーザ素子に比べると非点隔差が減少し光学特性が向上している。その理由は、上記の構造によれば、リッジストライプの内外の実効屈折率差が実施形態2に比べて大きくなったためである。

【0123】このように、光ガイド層がエッチングストップパ層の下側に形成されている本発明の半導体レーザ素子では、光学特性の改善を容易に行うことが出来る。

【0124】（実施形態9）図13は本発明半導体レーザ素子の実施形態9を示す。本実施形態9は、本発明を上記実施形態2同様のリッジ型の半導体レーザ素子に適用した例を示す。但し、本実施形態9においては、光出射端面から30μmのリッジストライプの外部領域のみ

p-GaAsエッチングストップパ層106が除去されている（図13（a）参照）他は、実施形態2と全く同じ構造になっている。

【0125】以下に、図13に従い本実施形態9の半導体レーザ素子の主な製造工程について説明する。

【0126】実施形態8同様に、リッジストライプの外部に露出しているp-GaAsエッチングストップパ層106のみを選択的に除去する際、全面にレジスト膜を塗布し、フォトリソグラフィ技術を用いて共振器方向に垂直に幅30μmの溝を形成する。クエン酸と過酸化水素の混合液をエッチング溶液として、この溝の内部に露出したp-GaAsエッチングストップパ層106のみをエッチングする。次いで、レジスト膜を剥離する。

【0127】その後は、上記実施形態2と同じ工程により半導体レーザ素子を作製するが、最後に半導体レーザ

素子端面を劈開する際、レーザ光出射端面から30 $\mu$ mの領域が上記のエッチングストップ層除去部分となるように分割して本実施形態9の半導体レーザ素子を得た。

【0128】本実施形態9の半導体レーザ素子の最大自励発振出力及びエージング歩留まりの評価を行ったところ、上記表2に示した実施形態2の半導体レーザ素子と同じ結果を得た。

【0129】次に、本実施形態9の半導体レーザ素子を\*

光出射端面からエッチングストップ層までの距離 ( $\mu$ m)	ディスク読みとりエラー個数 (個/sec)
0 (除去しない場合)	190
1.5	170
3	100
10	70
30	25
100	100
150	130
225	190
375 (全て除去)	1000

【0131】ここで、通常、CD (コンパクト ディスク) 用のディスク等の場合、1秒あたり200個以下のエラーであれば、誤り訂正機能により問題を生じる可能性は小さいが、実用上は1秒あたり100個以下のエラーが望まれる。本実施形態9においては、表9に示すように、光出射端面から、エッチングストップ層106までの距離が3 $\mu$ mから100 $\mu$ mの範囲において、エラーが1秒あたり100個以下となっており、所望の特性が得られていることがわかる。

【0132】その理由は、戻り光が光出射端面に侵入した際、可飽和吸収効果を持つエッチングストップ層106に吸収される効果が少ないため、半導体レーザ素子の出力が安定し、読み取りエラーが少なくなっているものと考えられる。

【0133】なお、表1に示すように、光出射端面からエッチングストップ層106までの距離が100 $\mu$ mより大きい場合には、可飽和吸収効果が十分でなくエラーが増大しており、3 $\mu$ mより小さい場合は、戻り光がエッチングストップ層106に吸収され、半導体レーザ素子の出力を変動させる原因となり、エラーを増大させているものと考えられる。

【0134】なお、本実施形態9では光共振器端面の片側にのみエッチングストップ層の除去領域を形成しているが、残りの端面からの戻り光が存在する場合は、両光出射端面のストライプ外部にエッチングストップ層の除去領域を形成した構造にしても同様の効果を得ることができる。

【0135】(実施形態10) 図14は本発明半導体レーザ素子の実施形態10を示す。本実施形態10の半導体レーザ素子は、光出射端面から30 $\mu$ mのp-GaAsエッチングストップ層106が全て除去されている他

\* 光ディスクの光源に応用したところ、戻り光量の変動にかかわらず安定した自励発振が生じた。下記表9は光出射端面からエッチングストップ層の除去領域までの距離を変えて本構造の半導体レーザ素子を作製し、光ディスクの誤り訂正前の読み取りエラーの個数を測定した結果を示す。

【0130】

【表9】

【0136】は、実施形態9の半導体レーザ素子と同様になっている。以下に、その構造を製造工程と共に説明する。

【0136】まず、n-GaAs基板101を成長装置(図示せず)内にセットし、このn-GaAs基板101上に、第1回目の結晶成長によりn-AlGaAs下クラッド層102、ノンドープ量子井戸活性層103、p-AlGaAs第1上クラッド層104、p-AlGaAs光ガイド層105及びp-GaAsエッチングストップ層106を順次積層成長する。

【0137】次いで、n-GaAs基板101を成長装置から取り出し、n-GaAs基板101上全面にレジスト膜を塗布し、公知のフォトリソグラフィ技術を用いて共振器方向に垂直に幅30 $\mu$ mの溝を形成し、p-GaAsエッチングストップ層106を露出させる。そして、クエン酸と過酸化水素の混合液をエッチング溶液としてp-GaAsエッチングストップ層106の露出部分をエッチングし、その後レジスト膜を剥離する。

【0138】そして、再度、n-GaAs基板101を成長装置内にセットし、第2回目の結晶成長により、p-AlGaAs第2上クラッド層107及びp-GaAsキャップ層108を順次積層成長する。その後、実施形態2と同じ工程により半導体レーザ素子を作製するが、最後に素子端面を劈開する際、レーザ光出射端面から30 $\mu$ mの領域が上記の可飽和吸収層の除去部分となるように分割して本実施形態10の半導体レーザ素子を得た。

【0139】本実施形態10の半導体レーザ素子の最大自励発振出力及びエージング歩留まりを評価したところ、上記表2に示した実施形態2の半導体レーザ素子と同じ結果を得た。

【0140】次に、本実施形態10の半導体レーザ素子

を光ディスクに応用したところ、戻り光量の変動にかかわらず安定した自励発振が生じた。下記表10は光出射端面からエッチングストップ層の除去領域までの距離を変えて本構造の半導体レーザ素子を作製し、光ディスク\*

光出射端面からエッチングストップ層までの距離 ( $\mu\text{m}$ )	ディスク読みとりエラー個数 (個/sec)
0 (除去しない場合)	180
1.5	150
3	70
10	50
30	10
100	70
150	97
225	160
375 (全て除去)	1000

【0142】本実施形態10の半導体レーザ素子では、光出射端面において最も戻り光強度が強いストライプの内部の可飽和吸収領域をも除去しているため、表10と表9とを比較してみれば明かなように、実施形態9の半導体レーザ素子に比べ、光ディスク読み取りエラーの個数が更に低減し、より安定した自励発振動作が生じていることがわかる。

【0143】(実施形態11)図15は本発明半導体レーザ素子の実施形態11を示す。本実施形態11は、本発明をAlGaInP系材料を用いた自己整合型の赤色半導体レーザ素子に適用した例を示す。

【0144】本実施形態11の半導体レーザ素子は、実施形態7の半導体レーザ素子におけるp-Ga<sub>0.4</sub>In<sub>0.6</sub>Pエッチングストップ層106をp-Ga<sub>0.51</sub>In<sub>0.49</sub>Pエッチングストップ層とし、ストライプ外において、このエッチングストップ層をn-GaAs電流阻止※

\*の誤り訂正前の読み取りエラーの個数を測定した結果を示す。

【0141】

【表10】

※層109上に形成している他は、実施形態7の半導体レーザ素子と同様の構造になっている。

【0145】本実施形態11の半導体レーザ素子においても、実施形態7の半導体レーザ素子と同じく、p-GaInPエッチングストップ層単独では可飽和吸収効果を持たず、p-AlGaInP光ガイド層との接合領域であるストライプ内においてのみ可飽和吸収効果を有する。従って、上記実施形態8の半導体レーザ素子と同じく、ストライプ内外の実効屈折率差がリッジストライプの外部に比べて大きくなるため、非点隔差が小さくなると共に横モードが安定化する。

【0146】本実施形態11の半導体レーザ素子の出力5mW時における非点隔差を評価した結果を下記表11に示す。

【0147】

【表11】

	非点隔差 (5 mW時)
実施形態11	4 $\mu\text{m}$

【0148】表11と上記表8とを比較してみれば理解されるように、本実施形態11の自己整合型半導体レーザ素子においても、実施形態8の半導体レーザ素子と同じく非点隔差を改善する効果があることがわかる。

【0149】(その他の実施形態)以上、本発明の種々の実施形態について説明したが、本発明が適用される実施形態は上記実施形態1～実施形態11のものに限定されるものではなく、以下に示す各種の変更が可能である。

【0150】一例として、AlGaAs系半導体レーザ素子についてはリッジ型、AlGaInP系半導体レーザ素子については自己整合型の構造のみを示したが、材料と素子構造の組み合わせを変えても同様の効果が得られる。また、他の材料系、例えば、ZnSe系、GaN系材料等を用いた半導体レーザ素子でも同様の効果が得られる。

【0151】また、活性層については量子井戸活性層の場合のみを示したが、量子効果を持たないバルク構造の場合でも、本発明の主旨に反しない限り同様の効果が得られる。

【0152】また、活性層の発振波長や可飽和吸収層の吸収係数、或いは共振器長や端面反射率などの変更を行っても本発明の効果は損なわれない。

【0153】

【発明の効果】以上述べたように、本発明の半導体レーザ素子によれば、可飽和吸収効果を兼ね備えたエッチングストップ層の下側に光ガイド層を配置したので、結晶欠陥の増殖を抑制し高出力動作時においても素子特性が劣化せず十分な素子寿命を得ることができる。

【0154】特に請求項2記載の半導体レーザ素子によれば、活性層のレーザ発振波長 $\lambda_1$ およびエッチングストップ層のバンドギャップに相当する波長 $\lambda_2$ が、

$$-12\text{nm} \leq \lambda_1 - \lambda_2 \leq 2\text{nm}$$

の範囲にある構成をとるので、戻り光ノイズと量子ノイズの両方を回退出来る。このため、広い光出力範囲において安定した低ノイズ特性を得ることができる。

【0155】また、特に請求項3記載の半導体レーザ素子によれば、エッチングストップ層のバンドギャップに相当する波長 $\lambda_2$ と光ガイド層のバンドギャップに相当する波長 $\lambda_3$ との差が、

$$0\text{nm} < \lambda_2 - \lambda_3 \leq 70\text{nm}$$

の範囲内にある構成をとるので、可飽和吸収によって生成した過剰キャリアをオーバーフローさせキャリア寿命を実質的に短く出来る。このため、高出力動作と低ノイズ特性の両立が可能となる。

【0156】また、特に請求項4記載の半導体レーザ素子によれば、光ガイド層に添加された不純物濃度が $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ より大きく $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ より小さい構成をとるので、結晶欠陥を抑制して自励発振出力を向上することが出来る。このため、高出力まで素子の信頼性と低ノイズ特性が維持される。

【0157】また、特に請求項5記載の半導体レーザ素子によれば、エッチングストップ層に添加された不純物濃度が $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ より大きく $3 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ より小さい構成をとるので、スイッチング動作を抑制して自励発振出力を向上することが出来る。このため、広い出力範囲において直線性の良い電流光出力特性が得られかつ素子の低ノイズ特性が維持される。

【0158】また、特に請求項6記載の半導体レーザ素子によれば、光ガイド層のバンドギャップが、エッチングストップ層側で大きく第1上クラッド層側で小さくなる変化を有する構成をとるので、過剰にキャリアが生成されてもその消滅を促進することが出来る。このため、高出力動作においても低ノイズ特性を維持することが出来る。

【0159】また、特に請求項7記載の半導体レーザ素子によれば、光ガイド層が多重量子井戸構造である構成をとるので、キャリア消滅を促進させ実質的なキャリア寿命を短く出来る。このため、更に高出力まで低ノイズ特性の維持が可能となる。

【0160】また、特に請求項8記載の半導体レーザ素子によれば、光ガイド層の不純物濃度がエッチングストップ層側で小さく第1上クラッド層側で大きくなる変化を有する構成をとるので、キャリア消滅を促進させ実質的なキャリア寿命を短く出来る。このため、更に高出力まで低ノイズ特性の維持が可能となる。

【0161】また、特に請求項9記載の半導体レーザ素子によれば、光ガイド層の全層厚が100Å以上200Å以下である構成をとるので、エッチングストップ層への光閉じ込め効果を高め、かつスイッチング動作を抑制することが出来る。このため、広い範囲において直線性の良い電流光出力特性が得られ、かつ低ノイズ特性が維

持される。

【0162】また、特に請求項10記載の半導体レーザ素子によれば、エッチングストップ層がストライプ状開口部のみ配置されている構成をとるので、ストライプ内外での実効屈折率差を大きく出来る。このため、非点隔差を小さくかつ横モードを安定化することができる。

【0163】また、特に請求項11記載の半導体レーザ素子によれば、エッチングストップ層が光出射端面付近において除去された領域を持つ構成をとるので、戻り光が可飽和吸収領域との相互作用を引き起こしにくい。このため、安定な自励発振動作を得ることができる。

【0164】また、特に請求項12記載の半導体レーザ素子によれば、エッチングストップ層がA1を含まない材料で形成されており、再成長界面の結晶欠陥を低減出来る。このため、素子の特性および信頼性を一層向上することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態1を示す、リッジ型の半導体レーザ素子の断面図である。

【図2】実施形態1のリッジ型の半導体レーザ素子において、光出力と相対雑音強度の関係を示すグラフである。

【図3】実施形態1のリッジ型の半導体レーザ素子において、 $\lambda_1 - \lambda_2$ と再生ジッタとの関係を示すグラフである。

【図4】実施形態2のリッジ型の半導体レーザ素子において、 $\lambda_2 - \lambda_3$ と最大自励発振出力との関係を示すグラフである。

【図5】実施形態2のリッジ型の半導体レーザ素子において、(a)は光ガイド層厚と最大自励発振出力を、(b)は光出力の跳びの関係を、それぞれ示すグラフである。

【図6】実施形態3のリッジ型の半導体レーザ素子において、光ガイド層の不純物濃度と最大自励発振出力およびエーミング歩留まりの関係を示すグラフである。

【図7】実施形態3のリッジ型の半導体レーザ素子において、エッチングストップ層の不純物濃度と最大自励発振出力および光出力の跳びの関係を示すグラフである。

【図8】本発明の実施形態4を示す、光ガイド層およびエッチングストップ層の構造図である。

【図9】本発明の実施形態5を示す、光ガイド層およびエッチングストップ層の構造図である。

【図10】本発明の実施形態6を示す、光ガイド層およびエッチングストップ層の構造図および不純物濃度分布のグラフである。

【図11】本発明の実施形態7を示す、自己整合型の半導体レーザ素子の断面図である。

【図12】本発明の実施形態8を示す、リッジ型の半導体レーザ素子の断面図である。

【図13】本発明の実施形態9を示す、(a)はリッジ



型の半導体レーザ素子の光出射端面における断面図、  
(b)は(a)のA-A'線による断面図、(c)はその非出射端面における断面図である。

【図14】本発明の実施形態10を示す、リッジ型の半導体レーザ素子の光出射端面における断面図である。

【図15】本発明の実施形態11を示す、自己整合型の半導体レーザ素子の断面図である。

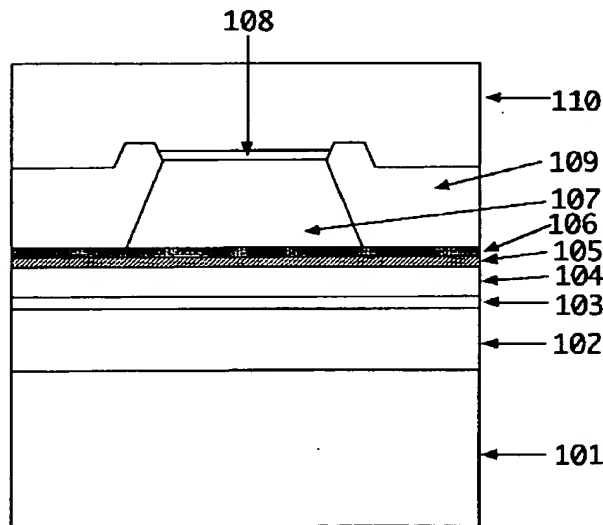
【図16】本発明におけるバンドギャップの定義を表わすバンド構造図である。

【図17】従来の自励発振型の半導体レーザ素子の断面図である。

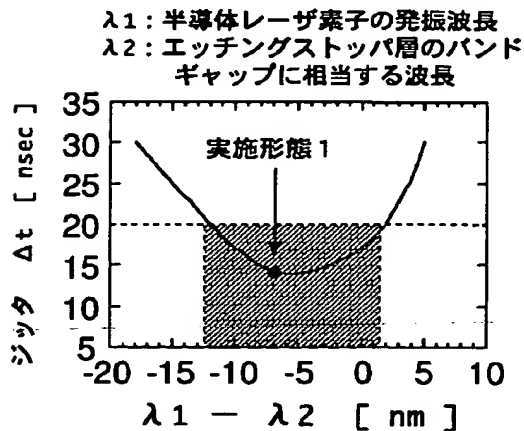
【符号の説明】

\*

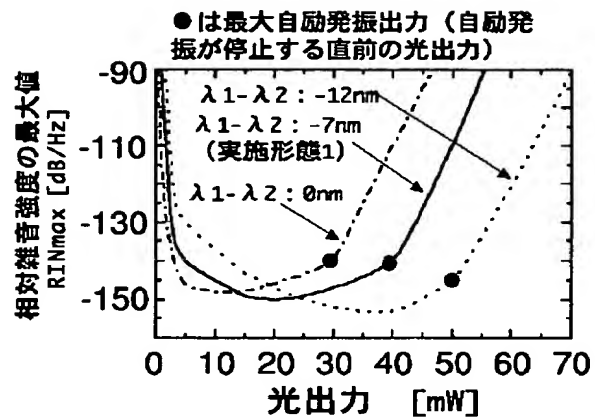
【図1】



【図3】

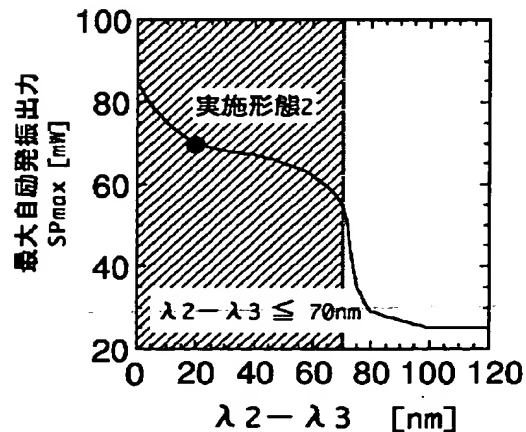


【図2】

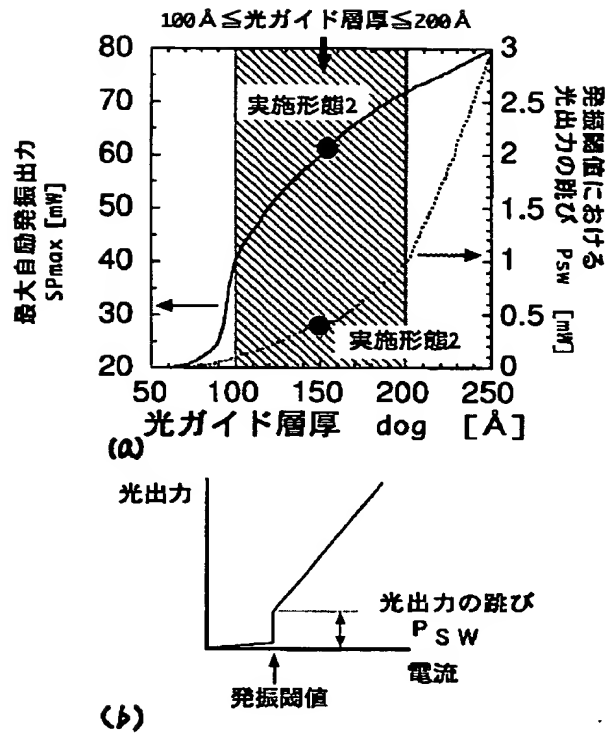


【図4】

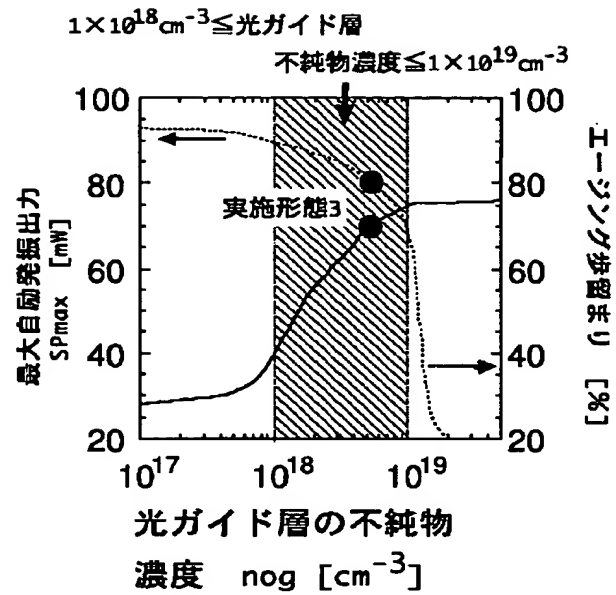
λ2: エッチングストップ層のバンドギャップに相当する波長  
λ3: 光ガイド層のバンドギャップに相当する波長



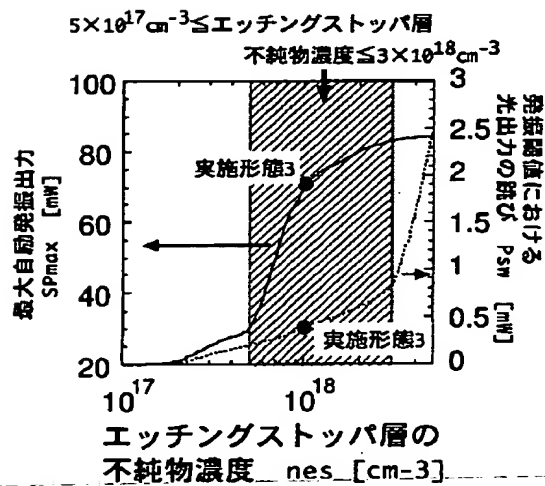
【図5】



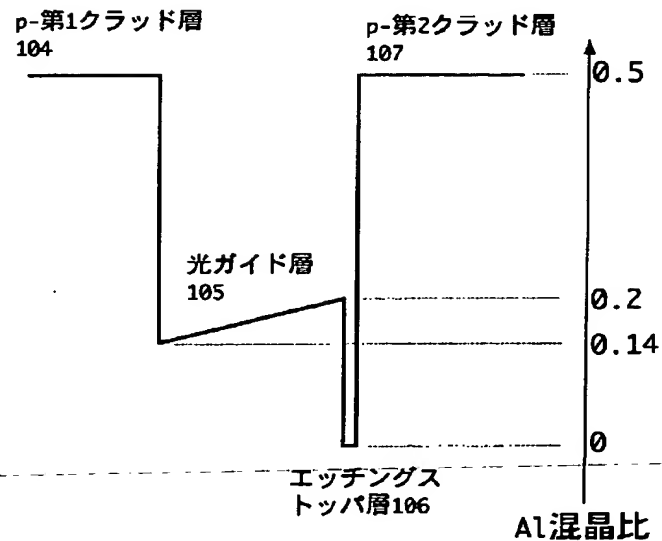
【図6】



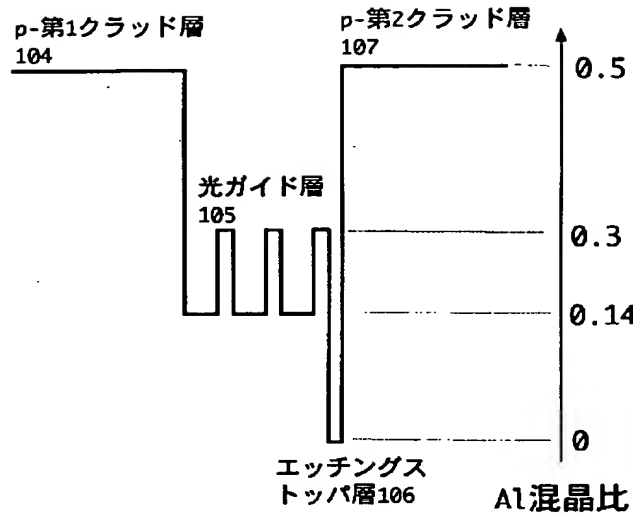
【図7】



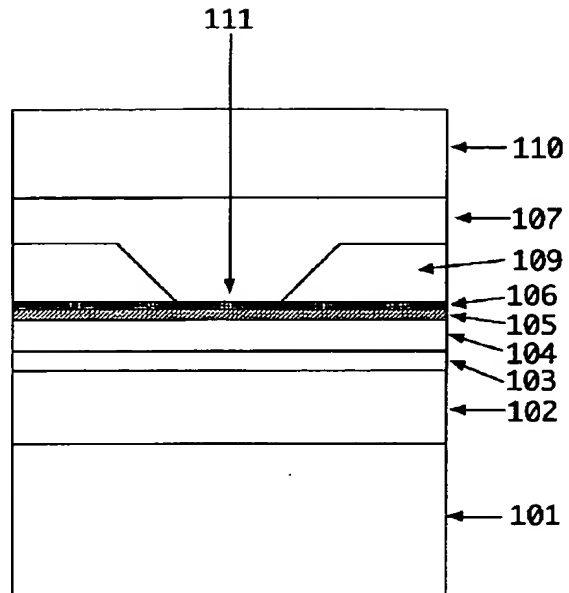
【図8】



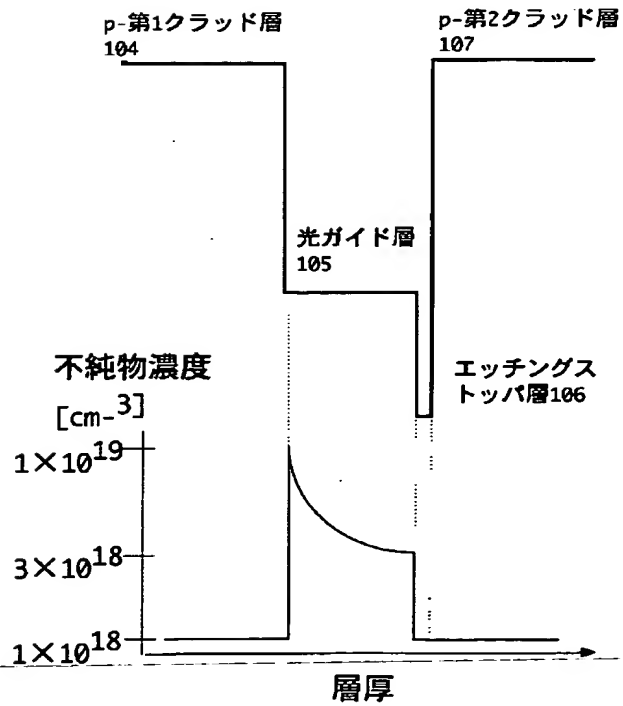
【図9】



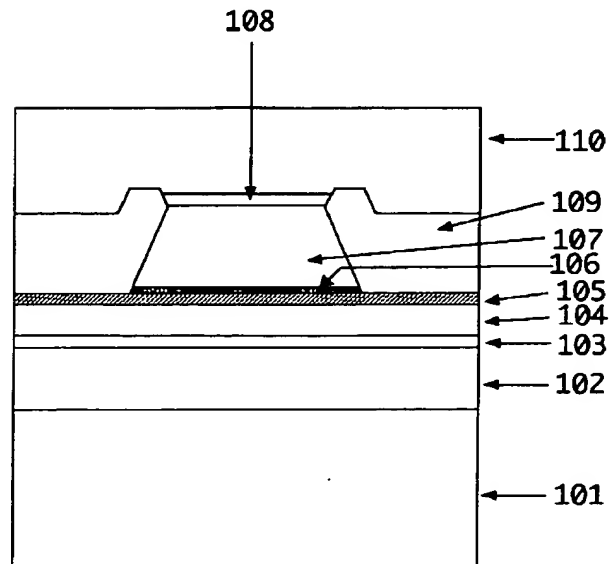
【図11】



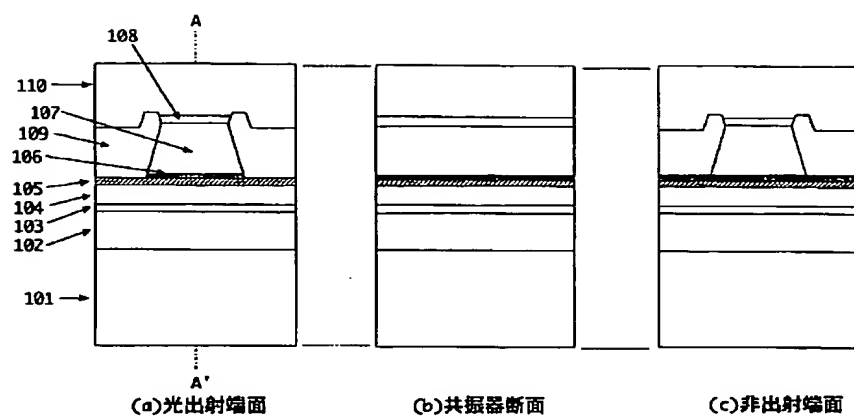
【図10】



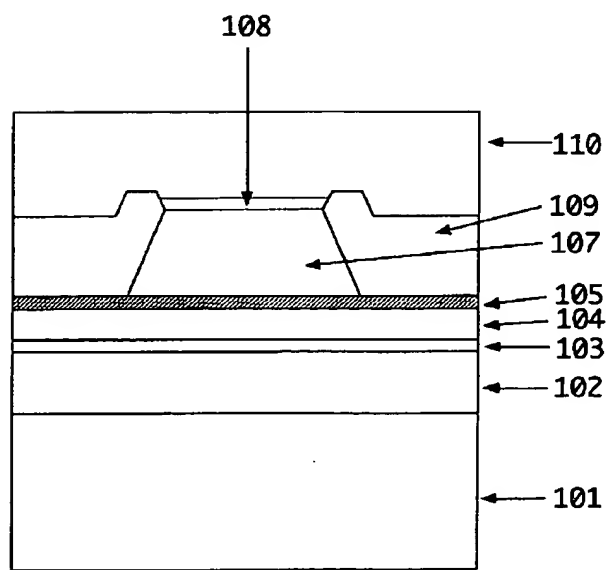
【図12】



【図13】

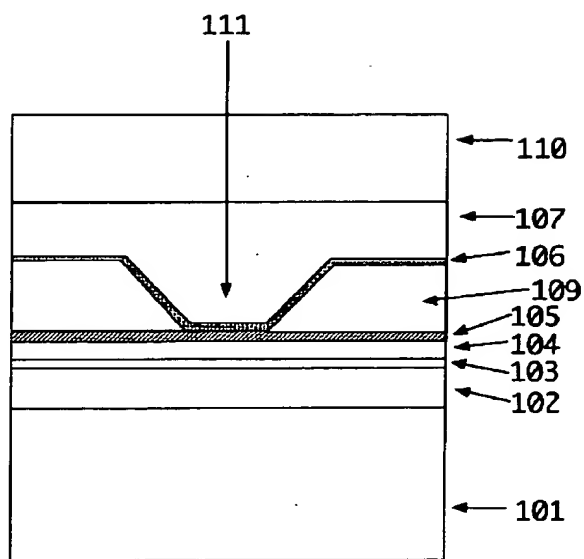


【図14】

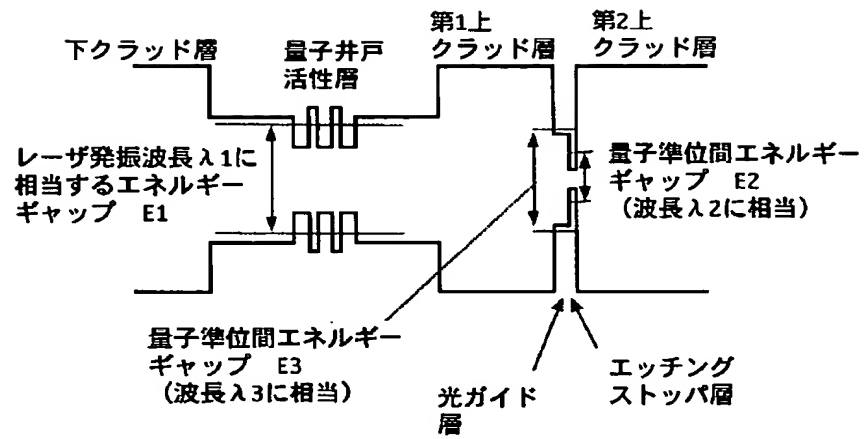


光出射端面

【図15】



【図16】



【図17】

